

STRUCTURE OF MAGNETORESISTIVE(MR) ELEMENT AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

Patent Number: JP2001189504
Publication date: 2001-07-10
Inventor(s): KAWABATA TAKESHI
Applicant(s): KAWABATA TAKESHI
Requested Patent: JP2001189504
Application Number: JP20000000611 20000106
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L43/08; G11B5/39
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture an element wherein a giant magneto-resistive(GMR) effect or tunnel magneto-resistance(TMR) effect is well provided by precisely controlling the thickness of a spacer, cluster electrode, or cluster electrode layer and selecting an appropriate material.

SOLUTION: A magnetoresistive element comprising an electrode (A component), spacer (G component), forced layer (F component), and cluster electrode (A component), or a magneto-resistive element (comprising a forced layer (F component), ferromagnetic electrode (A component), spacer (G component) and cluster layer (K component) is formed on the upper surface of an insulating substrate (B component) comprising non-magnetic material by combination of an MBE method, lithography method, and strong external magnetic field as well as thermal process, so that an MR composite element comprising MR single element of m3 pieces or a magnetoresistive single element wherein a magnetic reluctance(MR) significantly drops under application of a small external magnetic field is manufactured.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-189504
(P2001-189504A)

(43) 公開日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 43/08

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

H 0 1 L 43/08

G 1 1 B 5/39

テームド (参考)

Z 5 D 0 3 4

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-611 (P2000-611)

(22) 出願日 平成12年1月6日 (2000.1.6)

(71) 出願人 399060182

川畑 武

宮城県仙台市太白区人來田1丁目27番35号

(72) 発明者 川畑 武

宮城県仙台市太白区人來田1丁目27番35号

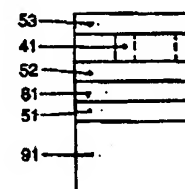
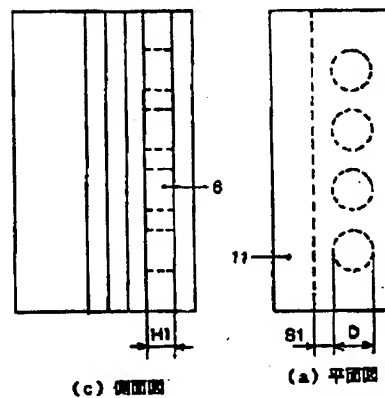
Fターム (参考) 5D034 BA04 BA08 BA15 DA07

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗 (MR) 素子の構造および製造方法

(57) 【要約】

【課題】 スペイサーの厚さ、あるいは、クラスタ電極の厚さ、または、クラスタ電極層の厚さを精密に制御するとともに、適切な材料選択により、巨大磁気抵抗 (GMR) 効果、あるいは、トンネル磁気抵抗 (TMR) 効果が大きく発現する素子を作製すること。

【解決手段】 非磁性体からなる絶縁基板 (B成分) の上面に、電極 (A成分)、スペイサー (G成分)、強制層 (F成分)、および、クラスタ電極 (A成分) から構成される磁気抵抗素子、あるいは、強制層 (F成分)、強磁性電極 (A成分)、スペイサー (G成分) および、クラスタ層 (K成分) から構成される磁気抵抗素子を、MBE法、リソグラフィ法、強力な外部磁場および熱処理を組み合わせて形成し、小さな外部磁場の印加により磁気抵抗 (MR) が大きく低下する、磁気抵抗単素子、あるいは、m3個のMR単素子からなるMR複合素子を作製する。



(b) 正視図

【特許請求の範囲】

【請求項1】 図1に示すように、絶縁基板91（B成分）の上に、第1スペイサー51（G成分）、第1電極81（A成分）、第2スペイサー52（G成分）、第1絶縁層41（C成分）に埋った形態で、 n （ $n=2\sim10$ ）個の、直径 D （ $D=0.5\sim50\text{nm}$ ）、高さ $H1$ （ $H1\leq D$ ： $H1=0.5\sim50\text{nm}$ ）を持つ第1クラスタ電極6（A成分）を、モレキュラー・ビーム・エピタキシ（Molecular-Beam Epitaxy：MBE）法、リソグラフィ法およびエッチング法により作成し、その上に、クラスタ間スペイサー56（G成分）を形成し、第2絶縁層42（C成分）、第2クラスタ電極7（A成分）、幅 W （ $W\sim D$ 、 $W=1\sim50\text{nm}$ ）、長さ L （ $L>W$ 、 $L=5\sim50\text{nm}$ ）の第1強制層11（F成分）および第2強制層12（ $W\sim D$ 、 $L>W$ ：F成分）とを設け、第3スペイサー53（G成分）、第2電極82（A成分）および第4スペイサー54（G成分）を積層した構造を持ち、電極となる第1、第2電極、および、第1クラスタ電極は、これらのスペイサーの働きにより、ひずみを加えられて、層面に垂直に磁化される。第2クラスタ電極の磁化方向は、第1および第2強制層により、（a）平面図の第1および第2強制層の長手方向に磁化される。弱い外部磁場が、平面図において、紙面に垂直方向、すなわち、（c）側面図の右から左の方向に、加わるとき、第2クラスタ電極のスピン方向は、容易に弱い外部磁場の方向に変化する。第1および第2電極間に常時一定の電流を流しておく、弱い外部磁場の印加により、電気抵抗値に大きな低下が生じる。請求項12に記載された各成分からなり、MBE法（スパッター法、あるいは、その他の成膜方法）、リソグラフィ法、エッチング法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、上記の磁気抵抗（MR）素子の形態およびその作製方法。請求項1の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101（D成分）を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項2】 図2に示すように、絶縁基板91（B成分）の上に、第1スペイサー51（G成分）、第1電極81（A成分）、第2スペイサー52（G成分）、第1絶縁層41（C成分）に埋った形態で、 n （ $n=2\sim10$ ）個の、直径 D （ $D=0.5\sim50\text{nm}$ ）、高さ $H1$ （ $H1\leq D$ ： $H1=0.5\sim50\text{nm}$ ）のクラスタを配列した、第1クラスタ電極6（A成分）を、モレキュラー・ビーム・エピタキシ（Molecular-Beam Epitaxy：MBE）法、リソグラフィ法およびエッチング法により作成し、その上に、クラスタ間スペイサー56（G成分）を形成し、第2絶縁層42（C成分）、第2クラスタ電極7（A成分）と、クラスタ列に平行に並んだ第1強制層11（F成分）とを設け、第3スペイサー53（G成分）、第2電極82（A成分）および第4スペイサー5

4（G成分）を積層した構造を持ち、電極となる第1、第2電極、および、第1クラスタ電極は、上下のスペイサーの働きにより、ひずみを加えられて、層面に垂直に、すなわち、（c）側面図の水平方向に磁化される。第2クラスタ電極の磁化方向は、第1強制層により、

（a）平面図の第1強制層の長手方向と平行に磁化される。S1は、第1強制層と第1クラスタ電極の間に、交換相互作用が十分強く働く距離である。弱い外部磁場が、平面図において、紙面に垂直方向、すなわち、

（c）側面図の右から左の方向に、加わるとき、第2クラスタ電極のスピン方向は、容易に弱い外部磁場の方向に変化する。第1および第2電極間に常時一定の電流を流しておく、弱い外部磁場の印加により、電気抵抗値に大きな低下が生じる。請求項12に記載された各成分からなり、MBE法（スパッター法、あるいは、その他の成膜方法）、リソグラフィ法、エッチング法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、上記の磁気抵抗（MR）素子の形態およびその作製方法。請求項2の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101（D成分）を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項3】 図3に示すように、絶縁基板91（B成分）の上に、第1スペイサー51（G成分）、第1電極81（A成分）、第2スペイサー52（G成分）、第1絶縁層41（C成分）に埋った形態で、 n （ $n=2\sim10$ ）個の、直径 D （ $D=0.5\sim50\text{nm}$ ）、高さ $H1$ （ $H1\leq D$ ： $H1=0.5\sim50\text{nm}$ ）を持つ第1クラスタ電極6（A成分）、幅 W （ $W\sim D$ 、 $W=1\sim50\text{nm}$ ）、長さ L （ $L>W$ 、 $L=5\sim50\text{nm}$ ）の第1強制層11（F成分）、および、第2強制層12（ $W\sim D$ 、 $L>W$ ：G成分）とを、モレキュラー・ビーム・エピタキシ（Molecular-Beam Epitaxy：MBE）法、リソグラフィ法およびエッチング法により作成し、その上に、第3スペイサー53（G成分）、第2電極82（A成分）および第4スペイサー54（G成分）を積層した構造を持ち、電極となる第1、および、第2電極は、上下のスペイサーの働きにより、ひずみを加えられて、層面に垂直に磁化される。第1クラスタ電極は、第1および第2強制層により、（a）平面図の第1および第2強制層の長手方向に磁化される。磁気媒体等の弱い外部磁場が、平面図において、紙面に垂直方向、すなわち、（c）側面図の右から左の方向に加わるとき、第1クラスタ電極のスピン方向は、容易に弱い外部磁場の方向に変化する。第1および第2電極間に常時一定の電流を流しておく、弱い外部磁場の印加により、電気抵抗値に大きな低下が生じる。請求項12に記載された各成分からなり、MBE法（スパッター法、あるいは、その他の成膜方法）、リソグラフィ法、エッチング法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とす

る、上記の磁気抵抗(MR)素子の形態およびその作製方法。請求項3の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101(D成分)を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項4】 図4に示すように、絶縁基板91(B成分)の上に、第1スペイサー51(G成分)、第1電極81(A成分)、第2スペイサー52(G成分)、第1絶縁層41(C成分)に埋った形態で、 n ($n=2\sim 10$)個の、直径 D ($D=0.5\sim 50\text{nm}$)、高さ $H1$ ($H1\leq D$: $H1=0.5\sim 50\text{nm}$)のクラスタを配列した、第1クラスタ電極6(A成分)と、クラスタ列に平行に並んだ第1強制層11(F成分)を、MBE法、リソグラフィ法およびエッチング法により作成し、その上に、第3スペイサー53(G成分)、第2電極82(A成分)および第4スペイサー54(G成分)を積層した構造を持ち、電極となる第1電極81、および、第2電極82は、上下のスペイサーの動きにより、ひずみを加えられて、層面に垂直に磁化される。第1クラスタ電極6の磁化方向は、第1強制層11により、(a)平面図の第1強制層11の長手方向と平行に磁化される。 $S1$ は、第1強制層と第1クラスタ電極の間に、交換相互作用が十分強く働く距離である。磁気媒体等の弱い外部磁場が、平面図において、紙面に垂直方向、すなわち、(c)側面図の右から左の方向に加わるとき、第1クラスタ電極のスビンの方向は、容易に弱い外部磁場の方向に変化する。第1および第2電極間に常時一定の電流を流しておく、弱い外部磁場の印加により、電気抵抗値に大きな低下が生じる。請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、エッチング法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、上記の磁気抵抗(MR)素子の形態およびその作製方法。請求項4の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101(D成分)を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項5】 図5に示すように、絶縁基板91(B成分)の上に、第1スペイサー51(G成分)、第1電極81(A成分)、第2スペイサー52(G成分)、第1絶縁層41(C成分)に埋った形態で、 n ($n=2\sim 10$)個の、直径 D ($D=0.5\sim 50\text{nm}$)、高さ $H1$ ($H1\leq D$: $H1=0.5\sim 50\text{nm}$)のクラスタを配列した、第1クラスタ電極6(A成分)を、MBE法、リソグラフィ法およびエッチング法により作成し、その上に、第3スペイサー53(G成分)を積層した構造を持ち、電極となる第1電極81は、上下のスペイサーの動きにより、ひずみを加えられて、層面に垂直に磁化される。この構造の場合、上部の(第2)電極は、第3スペイサー53で代用される。第1クラスタ電極6の磁化

方向は、高さ $H1$ を適切なサイズにすることにより、(a)平面図の長手方向、すなわち、上下方向に磁化される。磁気媒体等の弱い外部磁場が、平面図において、紙面に垂直方向、すなわち、(c)側面図の右から左の方向に加わるとき、第1クラスタ電極のスビンの方向は、容易に弱い外部磁場の方向に磁化する。第1電極および第3スペイサー間に常時一定の電流を流しておく、弱い外部磁場の印加により、電気抵抗値に大きな低下が生じる。請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、エッチング法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、上記の磁気抵抗(MR)素子の形態およびその作製方法。請求項5の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101(D成分)を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項6】 図6に示したように、絶縁基板91(B成分)の上に、第1スペイサー51(G成分)、第1電極81(A成分)、第2スペイサー52(G成分)、第1絶縁層41(C成分)に埋った形態で、 n ($n=2\sim 10$)個の、直径 D ($D=0.5\sim 50\text{nm}$)、高さ $H1$ ($H1\leq D$: $H1=0.5\sim 50\text{nm}$)のクラスタを配列した、第1クラスタ電極6(A成分)、幅 W ($W\sim D$, $W=1\sim 50\text{nm}$)、長さ L ($L>W$, $L=5\sim 50\text{nm}$)の第1強制層11(F成分)および第2強制層12($W\sim D$, $L>W$: F成分)とを、MBE法、リソグラフィ法およびエッチング法により作成し、その上に、第3スペイサー53(G成分)を積層した構造を持ち、電極となる第1電極81は、上下のスペイサーの動きにより、ひずみを加えられて、層面に垂直に磁化される。この構造の場合、上部の(第2)電極は、第3スペイサー53で代用される。第1クラスタ電極6の磁化方向は、第1および第2強制層の動きにより、(a)平面図の長手方向、すなわち、上下方向に磁化される。磁気媒体等の弱い外部磁場が、平面図において、紙面に垂直方向、すなわち、(c)側面図の右から左の方向に加わるとき、第1クラスタ電極のスビンの方向は、容易に弱い外部磁場の方向に変化する。第1電極および第3スペイサー間に常時一定の電流を流しておく、弱い外部磁場の印加により、電気抵抗値に大きな低下が生じる。請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、エッチング法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、上記の磁気抵抗(MR)素子の形態およびその作製方法。請求項6の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101(D成分)を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項7】 図7に示すように、絶縁基板91(B成

分)の上に、第1スペイサー51(G成分)、第1電極81(A成分)、第2スペイサー52(G成分)、第1絶縁層41(C成分)に埋った形態で、 n ($n=2\sim10$)個の、直径 D ($D=0.5\sim50\text{nm}$)、高さ $H1$ ($H1\leq D$; $H1=0.5\sim50\text{nm}$)のクラスタを配列した、第1クラスタ電極6(A成分)と、これに平行に並んだ第1強制層11(F成分)を、MBE法、リソグラフィ法およびエッチング法により作成し、その上に、第3スペイサー53(G成分)を積層した構造を持ち、電極となる第1電極81は、上下のスペイサーの動きにより、ひずみを加えられて、層面に垂直に磁化される。S1は、第1強制層と第1クラスタ電極の間に、交換相互作用が十分強く働く距離である。この構造の場合、上部の(第2)電極は、第3スペイサー53で代用される。第1クラスタ電極6の磁化方向は、第1強制層の動きにより、(a)平面図の長手方向、すなわち、上下方向に磁化される。磁気媒体等の弱い外部磁場が、平面図において、紙面に垂直方向、すなわち、(c)側面図の右から左の方向に加わるとき、第1クラスタ電極のスピンの方向は、容易に弱い外部の方向に変化する。第1電極および第3スペイサー間に常時一定の電流を流しておくと、弱い外部磁場の印加により、電気抵抗値に大きな低下が生じる。請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、エッチング法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、上記の磁気抵抗(MR)素子の形態およびその作製方法。請求項7の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101(D成分)を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項8】 図8に示したように、絶縁基板91(B成分)の上に、(a)正面図の下側からS1離れた位置を端として、縦長に第1強磁性電極86(A成分)を形成し、その上に、同じく正面図の下端を端として、長さ($S1+B$; $S1=0\sim50\text{nm}$ 、 $B=5\sim100\text{nm}$)、幅 W ($W=5\sim50\text{nm}$)および厚さ $H1$ ($H1=2\sim50\text{nm}$)の第1クラスタ層111(K成分)(この場合、酸素、あるいは、空気雰囲気中で、成膜することにより、直径 D ($D=1\sim10\text{nm}$)の球状の、金属あるいは合金クラスタが、絶縁酸化膜中に、容易にトンネル効果が発現する距離で自然形成される)と、第5強制層15(F成分)を形成し、その上に、第1クラスタ層と等しいサイズで、接した形態で、第1スペイサー51(G成分)、および、第2クラスタ層112(K成分)を形成し、第2クラスタ層の両側に、正面図の下端からS1離れた位置に、横方向を長手方向とする、幅 B ($B=5\sim25\text{nm}$)、長さ L ($L=10\sim50\text{nm}$)、厚さ $H1$ ($H1=2\sim50\text{nm}$)の、第1強制層11(F成分)および第2強制層12(F成分)を形成

し、その上に、第1強磁性電極86と同じ位置に重なった形で、第2強磁性電極87(A成分)を形成し、第1および第2強磁性電極の間に、挟まれた形で、第3絶縁層43(C成分)を作成し、これらの周囲に第1絶縁層41(C成分)および第2絶縁層42(C成分)を形成する構造であり、請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(または、スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、スピン依存トンネル効果の原理に基づく、1つのトンネル回路を有する、トンネル磁気抵抗(TMR)素子の形態およびその作製方法。第1強磁性電極86、および、第2強磁性電極87間に、常時一定電流を流しておくと、図8(c)左側面図の下方から上方に、磁気媒体等の弱い外部磁場を印加するとき、電極間に、磁気の印加に対応する電圧降下が生じる。請求項8の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101(D成分)を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項9】 図9に示したように、絶縁基板91(B成分)の上に、(a)正面図の下側からS1離れた位置を端として、縦長に第1強磁性電極86(A成分)を形成し、その上に、同じく正面図の下端を端として、長さ($S1+B$; $S1=0\sim50\text{nm}$ 、 $B=5\sim100\text{nm}$)、幅 W ($W=5\sim50\text{nm}$)および厚さ $H1$ ($H1=2\sim50\text{nm}$)の第1クラスタ層111(K成分)と、第5強制層15(F成分)を作成し(この場合、酸素、あるいは、空気雰囲気中で、成膜することにより、直径 D ($D=1\sim10\text{nm}$)の球状の、金属あるいは合金クラスタが、絶縁酸化膜中に、容易にトンネル効果が発現する距離で自然形成される)、その上に、第1クラスタ層と等しいサイズで、接した形態で、第1スペイサー51(G成分)、および、第2クラスタ層112(K成分)を形成し、その両側に、正面図の下端からS1離れた位置に、横方向を長手方向とする、 B ($B=5\sim25\text{nm}$)、長さ L ($L=10\sim50\text{nm}$)、厚さ $H1$ ($H1=2\sim50\text{nm}$)の、第1強制層11(F成分)および第2強制層12(F成分)を形成し、その上に、第1強磁性電極86と同じ位置に重なった形で、第2強磁性電極87(A成分)を形成し、またその上に、正面図の下端を端として、同じく酸素、あるいは、空気雰囲気中で、 $S1+B$ の長さの第3クラスタ層113(K成分)を作成し、その両側に、下端からS1離れた位置に、正面図の横方向を長手方向とする第3強制層13(F成分)および第4強制層14(F成分)を形成し、第3クラスタ層の上の等しい位置に、接した形態で、第2スペイサー52(G成分)、および、第4クラスタ層114(K成分)と、第6強制層16(F成分)を形成し、その上に、正面図の下端からS1の位置を端として、第1および第2強磁性電極に重なった位置に、第3

強磁性電極88 (A成分)を形成し、第1および第2強磁性電極の間、ならびに、第2および第3強磁性電極の間に、それぞれ挟まれた形で、第4絶縁層44 (C成分)および第5電極間絶縁層45 (C成分)を作成し、第1、第2および第3強磁性電極層の周囲に第1絶縁層41 (C成分)、第2絶縁層42 (C成分)および第3絶縁層43 (C成分)をそれぞれ形成する構造であり、請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(または、スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、スピン依存トンネル効果の原理に基づく、2つのトンネル回路を有する、トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子の構造およびその作製方法。第2強磁性電極87、および、第1強磁性電極86間、ならびに、第2強磁性電極87、および、第3強磁性電極88間に、常時一定電流を流しておく、図9 (c) 左側面図の下方から上方に、磁気媒体等の弱い外部磁場を印加するとき、電極間に、磁気の印加に対応する電圧降下が生じる。請求項9の構造を単素子とし、請求項11に記載した複合素子形態を図11に、遮蔽層101 (D成分)を組み込んだ場合の形態を図12に、それぞれ示す。

【請求項10】 図10に示されているように、絶縁基板91 (B成分)の上に、(a) 正面図の下側からS1離れた位置を端として、縦長に第1強磁性電極86 (A成分)を形成し、その上に、同じく正面図の下端を端として、長さ $(S1+B; S1=0\sim 50\text{ nm}, B=5\sim 100\text{ nm})$ 、幅 $W (W=5\sim 50\text{ nm})$ および厚さ $H1 (H1=2\sim 50\text{ nm})$ の第1クラスタ層111 (K成分) (この場合、酸素、あるいは、空気雰囲気中で、成膜することにより、直径 $D (D=1\sim 10\text{ nm})$ の球状の、金属あるいは合金クラスタが、絶縁酸化膜中に、容易にトンネル効果が発現する距離で自然形成される)を形成し、第1クラスタ層の両側に、正面図の下端からS1離れた位置に、横方向を長手方向とする、幅 $B (B=5\sim 25\text{ nm})$ 、長さ $L (L=10\sim 50\text{ nm})$ 、厚さ $H1 (H1=2\sim 50\text{ nm})$ の、第1強制層11 (F成分)および第2強制層12 (F成分)を形成し、その上に、第1強磁性電極86と同じ位置に重なった形で、第2強磁性電極87 (A成分)を形成し、第1および第2強磁性電極の間に、挟まれた形で、第3絶縁層43 (C成分)を作成し、これらの周囲に第1絶縁層41 (C成分)および第2絶縁層42 (C成分)を形成する構造であり、請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(または、スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とする、スピン依存トンネル効果の原理に基づく、トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子の形態およびその作製方法。第1強磁性電極86、および、第2強磁性電極87間に、常時一定電流

を流しておく、図10 (c) 左側面図の下方から上方に、磁気媒体等の弱い外部磁場を印加するとき、電極間に、磁気の印加に対応する電圧降下が生じる。請求項10の構造を単素子として、請求項11に記載する複合素子形態は図11に、遮蔽層101 (D成分)を組み込んだ素子形態は図12に、それぞれ示されている。

【請求項11】 図11に示されているように、細長い絶縁基板 (B成分)の上に、巨大磁気抵抗 (Giant Magnetoresistance: GMR) 単素子、トンネル相変態磁気抵抗 (TPMR) 単素子、あるいは、異方性磁気抵抗 (Anisotropic Magnetoresistance: AMR) 単素子を、ピッチ p 3で、 m 3個配列した形態を持ち、請求項12に記載された各成分からなり、MBE法(または、スパッター法、あるいは、その他の方法)、リソグラフィ法、強力な外部磁場の印加および熱処理により作製することを特徴とし、巨大磁気抵抗 (GMR) 効果、トンネル (TMR) 効果、異方性磁気抵抗 (AMR) 効果、あるいは、これらの効果を2つ以上組合せた複合効果を原理とする、GMR、TMR、AMR、あるいは、GMR-TMR複合素子の形態、および、その作製方法。ピッチ p 3を磁気媒体のトラックピッチに一致させるとき、 m 3個のトラックの情報を同時に読み込むことが可能となり、読み込み速度を大きく増大できる。 m 3が、磁気媒体のトラック数に等しい場合には、読み取り素子は、固定したままで、磁気媒体の全トラックのデータを読み取ることが可能となる。

【請求項12】 第1クラスタ電極、第2クラスタ電極、第1電極、第2電極、第1強磁性電極86、第2強磁性電極87、および、第3強磁性電極88を構成する、分極率の大きいA成分として、Fe、Co等の強磁性特性を持つ金属、および、CoPt、NiFe、CoFe、NiFeCo等の合金を使用し、絶縁基板91を構成するB成分、ならびに、第1、第2、第3、第4および第5絶縁層46、47、48、49および45を構成するC成分として、非磁性特性を持つアルミナ (Al_2O_3) および SiO_2 、等をそれぞれ使用し、高周波特性の優れた軟強磁性 (soft ferromagnetic material) 特性を持つ、遮蔽層101を構成するD成分として、FeSi合金、アモルファス合金 (FeNiMoSiB、FeCoSiB、CoMnB、CoHfB、FeCoNbSiBおよびFeNiPB等)、立法晶スピネル・フェライト ($MeFe_2O_4$; ここで、Meは、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、MgおよびCd、あるいは、これらの金属の組み合わせである、MnZn、NiZn、LiZn、MgZn、MnMg、MnCuおよびLiNi等)、および、NiCuCoMnAlフェライト、ならびに、イットリウム・鉄・ガーネット系混合酸化物を使用し、第1、第2、第3および第4強制層11、12、13および14を構成するF成分として、永久磁石 (permanent magnet) と同じ特性を持つ硬強磁性

体 (hard ferromagnetic material) である、 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 、 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ および $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ 各フェライト等、 SmCo 磁石材料等、ならびに、反強磁性体である FeMn 、 NiMn 、 NiO 、 PtMn 、 PdPtMn 、 RhMn 、および、 MnIr 合金等を使用し、第1スペイサー51、第2スペイサー52、第3スペイサー53、第4スペイサー54、および、クラスタ間スペイサー56を構成するG成分として、 Cu 、 Al 、 Pt 、 Au 、 Pd 、 Mn あるいは、良導体非磁性金属または合金を使用し、強磁性体のクラスタを含む第1および第2クラスタ層を構成する、K成分として、 Co-Al-O 、 Ni-Si-O 、 Co-Si-O 、 Fe-Mg-O 、 Fe-Hf-O (以上は、酸素あるいは空気雰囲気中で、 Co-Al 、 Ni-Si 、 Co-Si 、 Fe-Mg 、 Fe-Hf 合金を、MBE法、スパッター法あるいはその他の方法で成膜する)、および、 Fe-Mg-F 系合金を使用することを特徴とし、磁気抵抗効果、あるいは、スピン依存トンネル効果を原理とする、請求項12以外の、請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10および11に記載したGMRおよびTMR素子形態および作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、MBE法 (または、スパッター法、あるいは、その他の成膜方法)、リソグラフィ法、強力な外部磁場の印加および熱処理の組合せにより、スペイサー間、すなわち、クラスタ電極の高さ、または、強磁性電極層-強磁性電極層間、すなわち、クラスタ層の厚さを、精密に制御して作成し、磁気媒体等の弱い磁場を加えないときには、大きな電気抵抗値を持つ状態であるが、磁気媒体等の弱い磁場が加わると、スピン依存磁気抵抗効果、あるいは、スピン依存トンネル効果の発現により、電気抵抗値の大きな低下を発生させる、巨大磁気抵抗 (GMR) 素子形態、あるいは、スピン依存トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子形態、および、それらの作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来は、 Cu-Fe 、 Cu-Co 、 Ag-Co あるいは Ag-Fe 等の組み合わせでモレキュラー・ビーム・エピタキシ (MBE) 法により多層薄膜を作成したり、あるいは、イオン化クラスタ・ビーム (ICB) 法により、 Cu あるいは Ag のマトリックス中に、 Fe あるいは Co 等の強磁性クラスタが酸化物絶縁体マトリックス中に埋め込まれた形態を、自然形成していた (例えば、S. Mitani et al. J. Magn. Magn. Mater. 165, 141(1997))。このような方法によっては、強磁性体と非磁性良導体の多層薄膜界面における電子のスピン依存散乱の効果、強磁性体のクラスタと非磁性良導体のマトリックスとの界面における電子のスピン依存散乱の効果、あるいは、非磁性絶縁体マトリックス中の、強磁

性体のクラスタ間のスピン依存トンネル効果が、磁気抵抗 (英語では、Magnetoresistance) 効果の生成原因であった。また、強磁性体 (例えば、 Co あるいは Fe) と非磁性特性をもつ半導体あるいは絶縁体 (例えば、 Ge 、 Al_2O_3) の薄膜を交互に積層した素子は、トンネル磁気抵抗効果を発現することが知られていた (例えば、S. Maekawa et. al, IEEE Trans. Magn. MAG-18, No. 2, 707(1982))。

【0003】このような磁気抵抗素子を用いて、読取り用の磁気ヘッドを作製し、これに、常時電流を流して、磁性媒体に近接して置くとき、磁性媒体の弱い磁場の变化として記録された情報は、磁気ヘッドの電圧変化として、読み出すことが可能となる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 従来の磁気抵抗効果は、磁性体と良導体の異界面における電子の散乱現象、あるいは、強磁性体と絶縁体の積層薄膜におけるスピン依存トンネル効果の発現が、外部磁場によって変化する効果を利用していたために、制御が困難で、抵抗変化を大きくすることが出来ないという欠点があった。

【0005】本発明は、スペイサー間の距離を、精密に制御すること、あるいは、クラスタ層の厚さを、精密に制御することにより、磁性媒体等の弱い磁場の存在下で、スピン依存巨大磁気抵抗効果、あるいは、スピン依存トンネル効果の発現を、有用的に制御できる素子を作製すること、すなわち、巨大磁気抵抗値、あるいは、スピン依存トンネル磁気抵抗値の変化が大きい素子を作製することを目的としている。

【0006】

【課題を解決するための手段】 上記の目的を達成するために、本発明では、非磁性特性を持つ絶縁基板の上に、第1、第2、第3スペイサーおよびクラスタ間スペイサー、第1、第2、第3、第4および第5絶縁層、第1、第2、第3、第4、第5および第6強制層、ならびに、第1、第2、第3および第4クラスタ層を、MBE法、リソグラフィ法、強力な外部磁場および熱処理を用いて作成することにより、最終的に、巨大磁気抵抗値、あるいは、トンネル磁気抵抗値の増減を、弱い磁場により制御できる形態の、巨大磁気抵抗 (GMR) 単素子、スピン依存トンネル磁気抵抗 (TMR) 単素子、あるいは、m3個のこれらの単素子からなる複合素子を作製する。

【0007】

【発明の実施の形態】 上記のように、第1に、スペイサー間の距離、すなわち、電極、あるいは、クラスタ電極の厚さを精密に制御すること、第2に、スペイサーの材料選択と厚さを精密に制御すること (請求項1、2、3、4、5、6および7)、あるいは、クラスタ層およびスペイサーの厚さを精密に制御すること (請求項8、9および10) が、巨大磁気抵抗値、あるいは、スピン

依存トンネル磁気抵抗値の増減を制御するために、それぞれ、重要である。これにより、小さな外部磁場の変化を、大きな電気抵抗変化に変換する、いわゆる巨大磁気抵抗 (GMR) 素子、あるいは、スピン依存トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子を作製できる。

【0008】図9に示すTPMR素子は、第1強磁性電極—第2強磁性電極間、および、第2強磁性電極—第3強磁性電極間に、それぞれ、2組のトンネル回路を持っている。2つのトンネル回路を、並列結合、あるいは、直列結合させることにより、電気抵抗値を増減できる。このとき、結合回路の全抵抗変化率は、1組の回路のそれにはほぼ等しい。2組のトンネル回路の抵抗特性を変化させて作成すると、希望する特性を持つ側の回路を使用できる利点もある。また、片方の回路に欠陥あるいは特性劣化が発生した場合においても、他方の回路を使用することで、より長時間の使用が可能となる。このように、図9に示した、トンネル回路が2組組み込まれた形態は、回路を2組もつために、より幅広い使用が可能になるという利点を持つ。

【0009】請求項1、2、3、4、6、7、8、9および10に記載した素子構造において、K成分からなる強制層は、クラスタ層中におけるクラスタのスビンの向きを、磁気媒体等の弱い外部磁場のスビンの向きに対して90度回転した方向に規制する。弱い外部磁場が印加されない場合には、磁気抵抗値が大きいが、外部磁場が印加された場合には、弱い磁場の作用により、クラスタ層中におけるクラスタのスビンの向きを、容易に90度回転させて、外部磁場の方向に向かせ、強磁性電極のスビンの方向と一致させて、磁気抵抗値を大きく低下させる。

【0010】請求項1、2、3、4、5、6および7に記載した、クラスタ電極および強磁性電極のスビンの向きは、素子製作時、スペイサーの厚さを適切に選ぶことにより、層面に垂直に向く。すなわち、スピンは、

(c) 側面図の右から左方向に、水平方向に向く。

【0011】請求項8、9、および10においては、各強磁性電極のスビンの向きを、磁気媒体等の弱い外部磁場の方向と一致させるため、すなわち、(a) 正面図の縦方向に向かせるために、クラスタ層の厚さおよび(あるいは)スペイサーの厚さを、反強磁性結合 (antiferromagnetic coupling) を生じない程度に厚くする。強制層を構成するK成分は、永久磁石 (permanent magnet) と等しい特性を持つ硬強磁性体 (hard ferromagnetic materials) からなるために、製作時、強い外部磁場を、同じく正面図の水平方向に加えて、強制層のスビンの向きを、水平方向に設定する。このとき、各強磁性電極のスビンの向きは、形状効果により、変化しない。したがって、クラスタ層中におけるクラスタのスビンの向きは、強制層のスビンの方向に向くように設定される。このようなスビンの設定のもとで、磁気媒体等の弱い外部磁場を、正面図の下側から、上方向に作用させることにより、前段【0009】に記述した磁気抵抗変化が発現する。

【0012】請求項8、9および10に記載した、S1およびBの値は、 $0 < S1 \leq B$ とする。S1は磁気媒体等に強制層の磁気の影響を及ぼさないために設ける。Bは強制層の幅である。強制層は正面図において、水平方向にスビンの向きを、形状効果により、自然設定するように、水平方向に長い形状を持たせる。

【0013】

【実施例】 表1および表2に、実施例番号、素子構造、A、B、C、D、F、GおよびK成分の材料、ならびに、結果を示す。結果に記載されている、「良好」は233K～383Kで5～10%、「優良」は233K～383Kで10～20%、および、「最良」は233K～383Kで20～30%の磁気抵抗変化率を表わす。

【0014】

【表1】

実施例 番号	素子構造	A成分	B成分	C成分	D成分	F成分	G成分	K成分	結果
1	請求項1の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeSi	BaFe ₁₂ O ₁₉	Pt	—	最良
2	請求項2の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeNiMoSiB	NiO	Au	—	最良
3	請求項3の構造	Co	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeCoSiB	SrFe ₁₂ O ₁₉	Pd	—	優良
4	請求項4の構造	Co	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CoMnB	FeMn	Pt	—	最良
5	請求項5の構造	Co	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeCoNbSiB	—	Pt	—	最良
6	請求項6の構造	Fe	SiO ₂	SiO ₂	FeCoSiB	IrMn	Mn	—	優良
7	請求項7の構造	Fe	SiO ₂	SiO ₂	CoMnB	PtMn	Mn	—	最良
8	請求項8の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnFe ₂ O ₄	NiO	Pt	CoAlO	最良
9	請求項9の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeNiMoSiB	BaFe ₁₂ O ₁₉	Cu	CoSiO	最良
10	請求項10の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeSi	SmCo	Cu	CoAlO	最良
11	請求項11の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CoHfB	PbFe ₁₂ O ₁₉	Cu	NiSiO	優良

【0015】

【表2】

実施例 番号	素子構造	A成分	B成分	C成分	D成分	F成分	G成分	K成分	結果
12	請求項1の構造	Co	SiO ₂	SiO ₂	FeCoNbSiB	PbFe ₁₂ O ₁₉	Pt	—	最良
13	請求項2の構造	Co	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeNiPB	FeMn	Pt	—	優良
14	請求項3の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnFe ₂ O ₄	BaFe ₁₂ O ₁₉	Pd	—	最良
15	請求項4の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	PtMn	Au	—	優良
16	請求項5の構造	Co	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeSi	—	Pt	—	最良
17	請求項6の構造	Fe	SiO ₂	SiO ₂	Fe ₃ O ₄	PtMn	Mn	—	優良
18	請求項7の構造	Fe	SiO ₂	SiO ₂	FeCoSiB	SrFe ₁₂ O ₁₉	Mn	—	最良
19	請求項8の構造	NiFe	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeNiMoSiB	SmCo	Pt	FeMgO	最良
20	請求項9の構造	CoPt	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeCoNbSiB	PbFe ₁₂ O ₁₉	Cu	FeHfO	優良
21	請求項10の構造	NiFe	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeNiPB	BaFe ₁₂ O ₁₉	Cu	FeZrO	最良
22	請求項11の構造	NiFe	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CoHfB	PbFe ₁₂ O ₁₉	Cu	CoAlO	優良

【0016】

【発明の効果】本発明は、以上に説明したように、電極の厚さ、スペイサー間の距離、すなわち、クラスタ電極の厚さ、および、強磁性電極—強磁性電極間の距離、すなわち、クラスタ層の厚さを、精密に制御して磁気抵抗素子を作製したので、磁気媒体に相当する極めて小さな磁場をかけることにより、巨大磁気抵抗効果、および、スピン依存トンネル効果を原理とする大きな抵抗減少を観測した。

【図面の簡単な説明】

【図1】垂直磁化した第1、第2電極および第2クラスタ電極、ならびに、可変スピンの第2クラスタ電極を有する、磁気抵抗素子構造を示す。(a)は平面図、(b)は正面図、および、(c)側面図である。

【図2】垂直磁化した第1、第2電極および第2クラス

タ電極、ならびに、可変スピンの第2クラスタ電極を有する、磁気抵抗素子構造を示す。(a)は平面図、(b)は正面図、および、(c)側面図である。

【図3】垂直磁化した第1および第2電極、ならびに、可変スピンの第1クラスタ電極を有する、磁気抵抗素子構造を示す。(a)は平面図、(b)は正面図、および、(c)側面図である。

【図4】垂直磁化した第1および第2電極、ならびに、可変スピンの第1クラスタ電極を有する、磁気抵抗素子構造を示す。(a)は平面図、(b)は正面図、および、(c)側面図である。

【図5】垂直磁化した第1電極、および、第1クラスタ電極を有する、磁気抵抗素子構造を示す。(a)は平面図、(b)は正面図、および、(c)側面図である。

【図6】垂直磁化した第1電極、および、可変スピンの

第1クラスタ電極を有する、磁気抵抗素子構造を示す。
(a)は平面図、(b)は正面図、および、(c)側面図である。

【図7】垂直磁化した第1電極、および、可変スピンの第1クラスタ電極を有する、磁気抵抗素子構造を示す。
(a)は平面図、(b)は正面図、および、(c)側面図である。

【図8】第1クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、第5強制層の作用により、(c)左側面図の下方から上方に固定し、第2クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、第1および第2強制層により、磁気媒体等の弱い外部磁場の向きに対して、90度回転した方向に設定し、弱い外部磁場の作用により、第2クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、外部磁場の方向に変化させることにより、大きな磁気抵抗変化率が発現する、1つのトンネル回路を有する、磁気抵抗素子構造を示す。(a)は正面図、(b)は下側面図、および、(c)は左側面図である。

【図9】第1および第4クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、第5および第6強制層の働きにより、(c)左側面図の下方から上方に固定し、第2および第3クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、第1、第2、第3および第4強制層により、磁気媒体等の弱い外部磁場の向きに対して、90度回転した方向に設定し、弱い外部磁場の作用により、第2および第3クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、外部磁場の方向に変化させることにより、大きな磁気抵抗変化率が発現する、2つのトンネル回路を有する、磁気抵抗素子構造を示す。(a)は正面図、(b)は下側面図、および、(c)は左側面図である。第3および第4強制層は、第4クラスタ層の両側に作成しても、本図における構造と等しい効果が発現できる。

【図10】第1クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、第1および第2強制層により、磁気媒体等の弱い外部磁場の向きに対して、90度回転した方向に設定し、弱い外部磁場の作用により、第1クラスタ層中におけるクラスタのスピンの向きを、外部磁場の方向に変化させることにより、大きな磁気抵抗変化率が発現する、1つのトンネル回路を有する、磁気抵抗素子構造を

示す。(a)は正面図、(b)は下側面図、および、(c)は左側面図である。

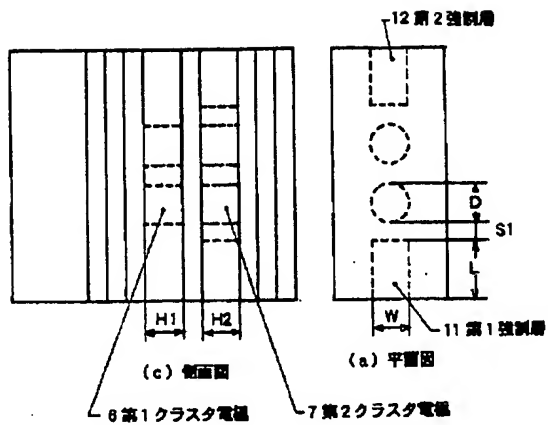
【図11】巨大磁気抵抗(GMR)あるいはトンネル磁気抵抗(TMR)単素子が m 3個、ピッチ p 3で1列に配列した形態の複合素子を示す。(a)は平面図、および、(b)は側面図である。

【図12】素子構造を示す(a)平面図において、紙面に対して垂直方向に、磁気媒体等の弱い外部磁場が加わるとき、遮蔽層101を組み込んだ場合の素子形態を示す。(a)は平面図、(b)は側面図である。

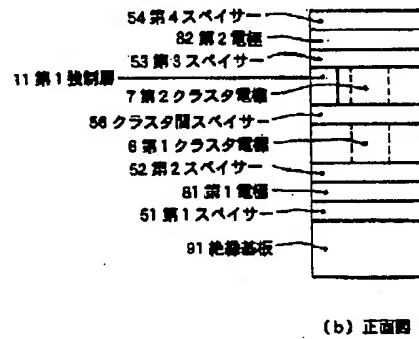
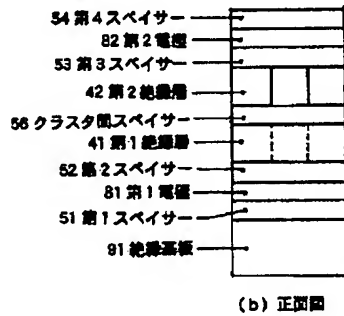
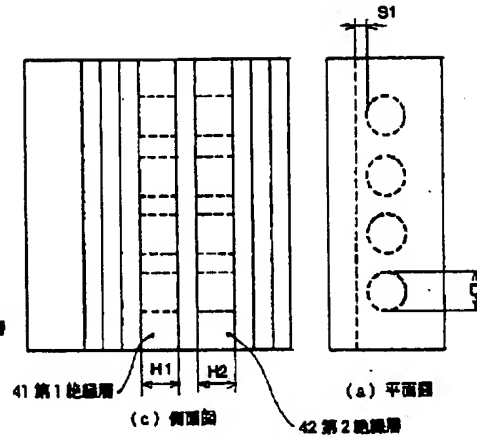
【符号の説明】

- 11：第1強制層
- 12：第2強制層
- 13：第3強制層
- 14：第4強制層
- 15：第5強制層
- 16：第6強制層
- 41：第1絶縁層
- 42：第2絶縁層
- 43：第3絶縁層
- 44：第4絶縁層
- 45：第5絶縁層
- 51：第1スペイサー
- 52：第2スペイサー
- 53：第3スペイサー
- 54：第4スペイサー
- 56：クラスタ間スペイサー
- 81：第1電極
- 82：第2電極
- 86：第1強磁性電極
- 87：第2強磁性電極
- 88：第3強磁性電極
- 91：絶縁基板
- 101：遮蔽層
- 111：第1クラスタ層
- 112：第2クラスタ層
- 113：第3クラスタ層
- 114：第4クラスタ層

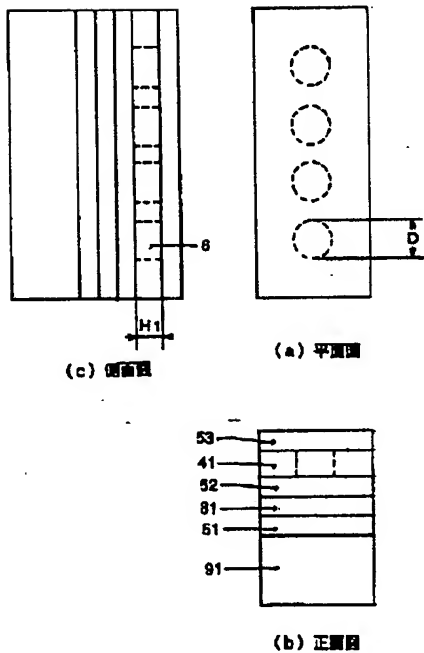
【図1】



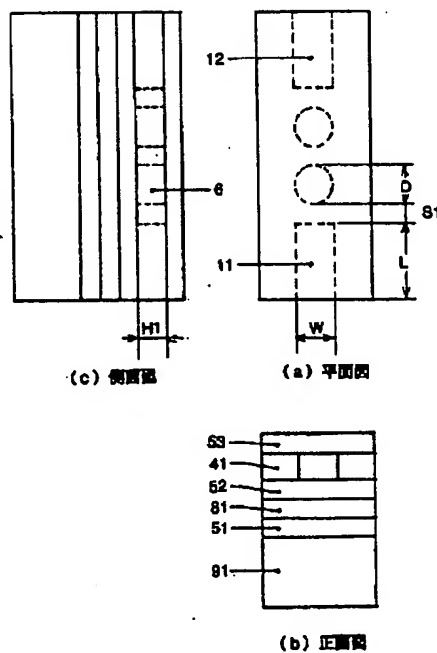
【図2】



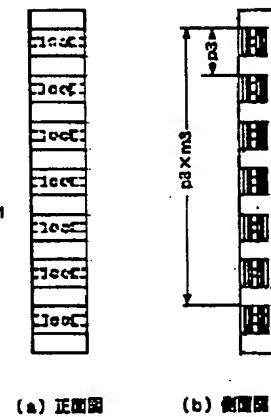
【図5】



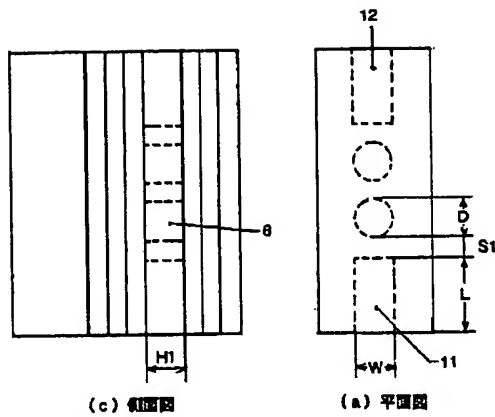
【図6】



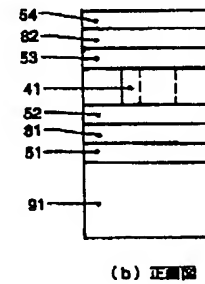
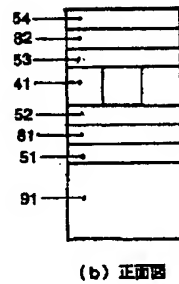
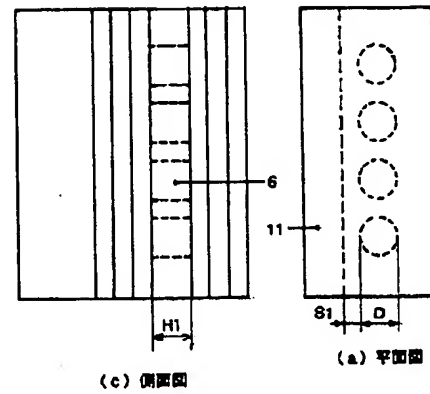
【図11】



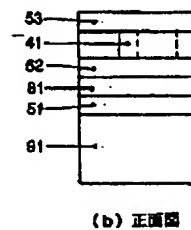
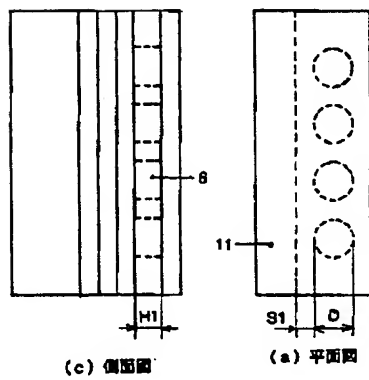
【図3】



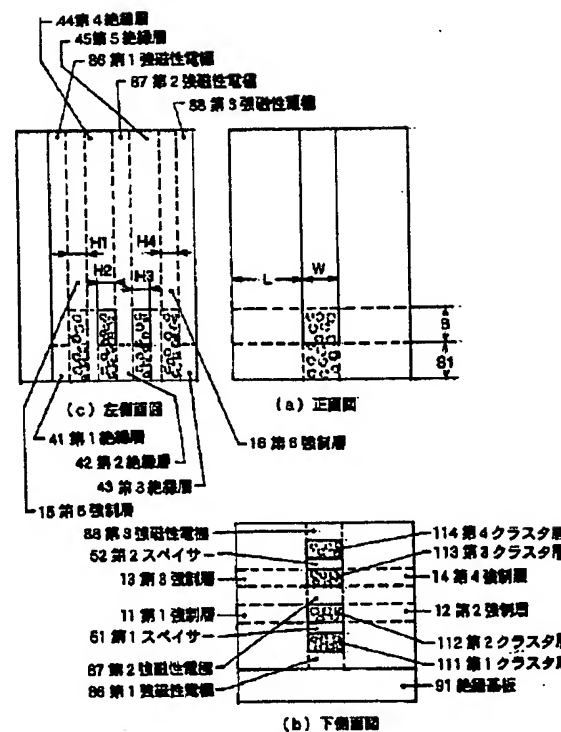
【図4】



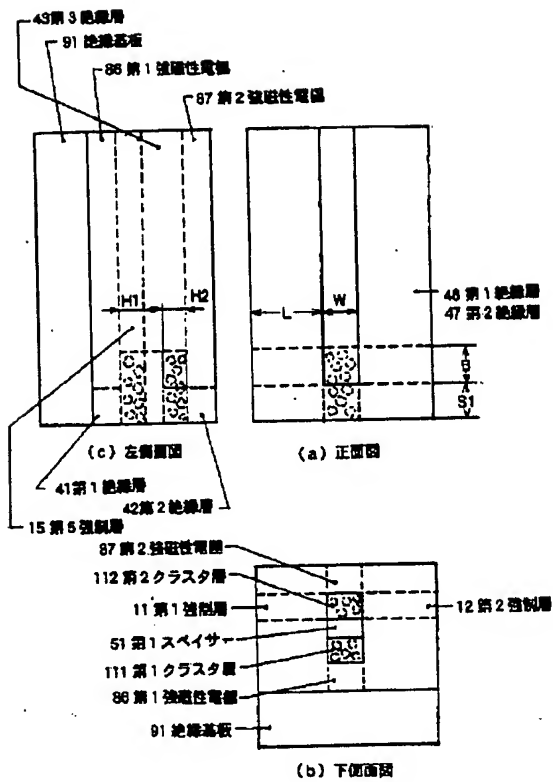
【図7】



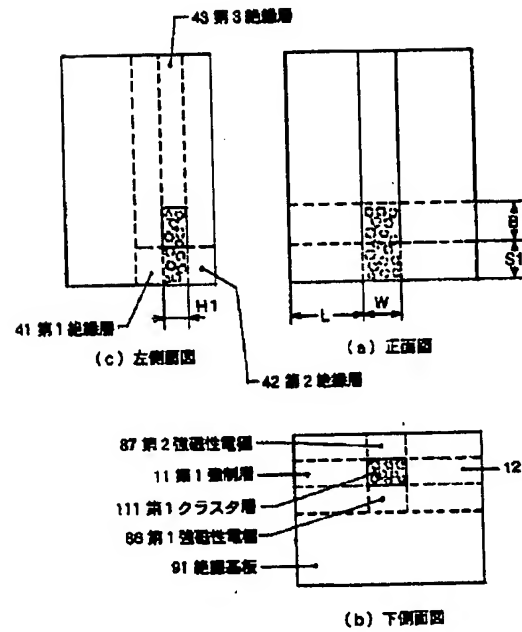
【図9】



【図8】



【図10】



【図12】

